



www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 17, nº 2 (2016)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v17i2.877>



PROCESSOS HIDRO-EROSIVOS EM SOLOS DEGRADADOS EM RELEVO DE BAIXA DECLIVIDADE

HYDRO-EROSIVE PROCESSES IN DEGRADED SOILS ON GENTLE SLOPE

Leonardo dos Santos Pereira

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP 21940- 590, Brasil
Email: leospgeo@gmail.com*

Aline Muniz Rodrigues

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP 21940- 590, Brasil
Email: alinemrodrigues@live.com*

Maria do Carmo Oliveira Jorge

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP 21940- 590, Brasil
Email: orofila@gmail.com*

Antônio José Teixeira Guerra

*Departamento de Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, CEP 21940- 590, Brasil
Email: antoniotguerra@gmail.com*

Michael Augustine Fullen

*Faculty of Science and Engineering, University of Wolverhampton
Wulfruna Street, Wolverhampton, United Kingdom, CEP: WV1 1LY, Inglaterra
Email: m.fullen@wlv.ac.uk*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
05/10/2015
Aceito (Accepted):
22/04/2016

Palavras-chave:

Erosão de Solo; Propriedades
Físico-Químicas de Solos;
Hidrologia de Encosta.

Keywords:

Soil Erosion; Soil
Physicochemical Properties;
Slope Hydrology.

Resumo:

Muitas pesquisas conferem maior peso na alta declividade do terreno como fator decisivo no processo hidro-erosivo. Porém, foi avaliado que baixas declividades ($\sim 4^\circ$) já são suficientes para se iniciar o escoamento superficial. A pesquisa teve como objetivo fazer uma caracterização físico-química de solo degradado, monitorar o seu potencial matricial e o processo de formação de escoamento em uma sub-bacia do rio Maranduba - Ubatuba/SP, em encosta com baixa declividade. O trabalho se baseou na instalação de parcelas de erosão em solo sem cobertura vegetal para analisar as perdas de solo e água, bem como as propriedades físicas e químicas do solo (Porosidade, textura, densidade, pH e matéria orgânica). As parcelas se localizam na parte intermediária de um morrote com encosta retilínea, esse sofreu alteração em sua morfologia original por meio de um corte de encosta (UTM: 0474211/7395934). O solo do local é um Latossolo que

apresenta o horizonte B exposto. Cerca de 6,9 t/ha de solo foram perdidos durante o monitoramento (01 agosto 2013-20 dezembro 2014) e mais de 5.354,7 m³ de água foram escoados superficialmente. Salienta-se a fragilidade dos ambientes degradados de baixa declividade frente às altas taxas de perdas de solo e água, que, no período de 17 meses de monitoramento e com chuvas dentro da normalidade para o município, totalizaram 63 dias com ocorrências de escoamento, em solos que tendem à saturação por períodos prolongados. Portanto, o transporte das partículas de solo superficialmente está atrelado à baixa drenagem do terreno e à perda da resistência do solo, corroborando em períodos longos de umidade antecedente, sendo este um dos fatores decisivos para se iniciar o escoamento superficial.

Abstract:

Much research emphasizes the importance of steep slopes in hydro-erosional processes. However, low slope angles (~4°) can initiate erosive runoff. This research is characterizing the physicochemical properties of degraded soils, soil matric potential and flow generation processes in Maranduba drainage basin, Ubatuba Municipality, São Paulo State (Brazil). Runoff plots with bare soils are used to measure soil and water losses and to analyse soil physicochemical properties (porosity, texture, bulk density, pH and organic matter content). The plots (UTM: 0474211/7395934) are located in the mid-section of a rectilinear slope, which was originally a slope cutting. The A horizon of this Oxisol was removed by erosion, exposing the B horizon at the surface. Some 6.9 t/ha of soil were lost during the monitoring period (01 August 2013-20 December 2014) and there was 5,354.7 m³ of runoff. This paper highlights the fragility of degraded environments on gentle slopes to generate high rates of water and soil loss, which in the period of 17 months of monitoring and rainfall within the normal range for the municipality amounted to 63 days with flow occurrences on soils that tend to saturation for extended periods. Therefore, the superficial transport of soil particles is linked to poor drainage of the land and the loss of soil strength, supporting long periods of antecedent moisture, which is one of the key factors to start runoff.

1. Introdução

Profissionais de diversas áreas estão se envolvendo com pesquisas de recuperação de áreas degradadas em ambientes que tiveram alteração na cobertura pedológica original, culminando em solos expostos e abandonados, uma vez que a erosão é considerada um processo preocupante, devido ao seu acelerado aumento em função da ação humana, o que pode gerar implicações econômicas, sociais e ambientais (NAGLE & RITCHIE, 2005; PEREIRA *et al.*, 2015; ZHANG *et al.*, 2015a). Pesquisadores ressaltam que os efeitos da erosão têm impactos fora do seu local de ocorrência, abrangendo uma escala maior, corroborando em maior fluxo de transporte de partículas de solo para áreas de deposição. Desse modo, entender a dinâmica e a qualidade do sistema solo se torna um indicativo de análise para alcançar a sustentabilidade do meio ambiente (LI *et al.*, 2004; CHAPLOT *et al.*, 2005; VALENTIN *et al.*, 2005; GUERRA & MENDONÇA, 2011; ZUAZO *et al.*, 2011; SANTOS *et al.*, 2013; ZHAO *et al.*, 2013).

A perda de solo acelerada é de 10 a 40 vezes superior às taxas de renovação do mesmo, o que coloca

em risco a sustentabilidade ambiental, assim como a segurança alimentar (PIMENTEL, 2006). Esta problemática ocorre em distintos ambientes como o de floresta, agricultura e, até, em solos urbanos, ocasionando grande perda para a humanidade, pois significa dizer que ecossistemas estão perdendo suas biodiversidades, além de ocasionar problemas com a disponibilidade de água (ZHANG *et al.*, 2015a).

Nessa perspectiva, Jorge & Guerra (2013) salientam a importância de se pesquisar a influência do escoamento e da hidrologia de ambientes degradados sob terrenos de baixa declividade, como 3° ou 5°, que já são suficientes para ocorrência de erosão na superfície do solo. Arnáez *et al.* (2015) ressaltam que as elevadas taxas de perda de solo que ocasionam problemas socioambientais, por exemplo, estão associadas à falta de práticas conservacionistas, ou seja, utilizam o solo em excesso, chegando a extrapolar sua capacidade de resiliência, como em áreas com manejo agrícola não conservacionista.

Por isso, analisar a capacidade de drenagem e armazenamento da água no solo é importante para en-

tender as taxas de escoamento superficial. O potencial total da água no solo ajuda a entender a retenção e a movimentação do líquido no solo. Dessa forma, a água se movimenta no solo do potencial total negativo mais alto para o mais baixo e a variabilidade desse processo está intimamente relacionada com a permeabilidade do solo. Nessa perspectiva, o potencial total da água no solo se dá por meio de um conjunto de diferentes tipos de energia potencial, que somadas resultam no potencial total (BRADY e WEIL, 2013).

O potencial matricial e o gravitacional representam importantes energias potenciais no solo, que explicam o processo de retenção e movimentação da água. Após a saturação do solo a água se encontra em estado livre e o potencial gravitacional será uma

das primeiras forças a atuar no deslocamento da água para camadas inferiores de um perfil de solo, uma vez que leva em consideração a força da gravidade da Terra. A movimentação e a retenção da água no solo por meio do potencial matricial atuam após a ação do potencial gravitacional, ocorrendo o fenômeno da sucção, quando o nível de energia potencial da água é atraído pelas partículas sólidas da matriz do solo. O potencial matricial se estabelece pela ação de duas forças, principalmente: uma representada pela força de coesão, que significa a atração das moléculas entre si (Figura 1); a segunda refere-se à força de adesão, que consiste na atração entre as moléculas de água com a superfície das partículas sólidas (REICHARDT, 1987; BRADY e WEIL, 2013).

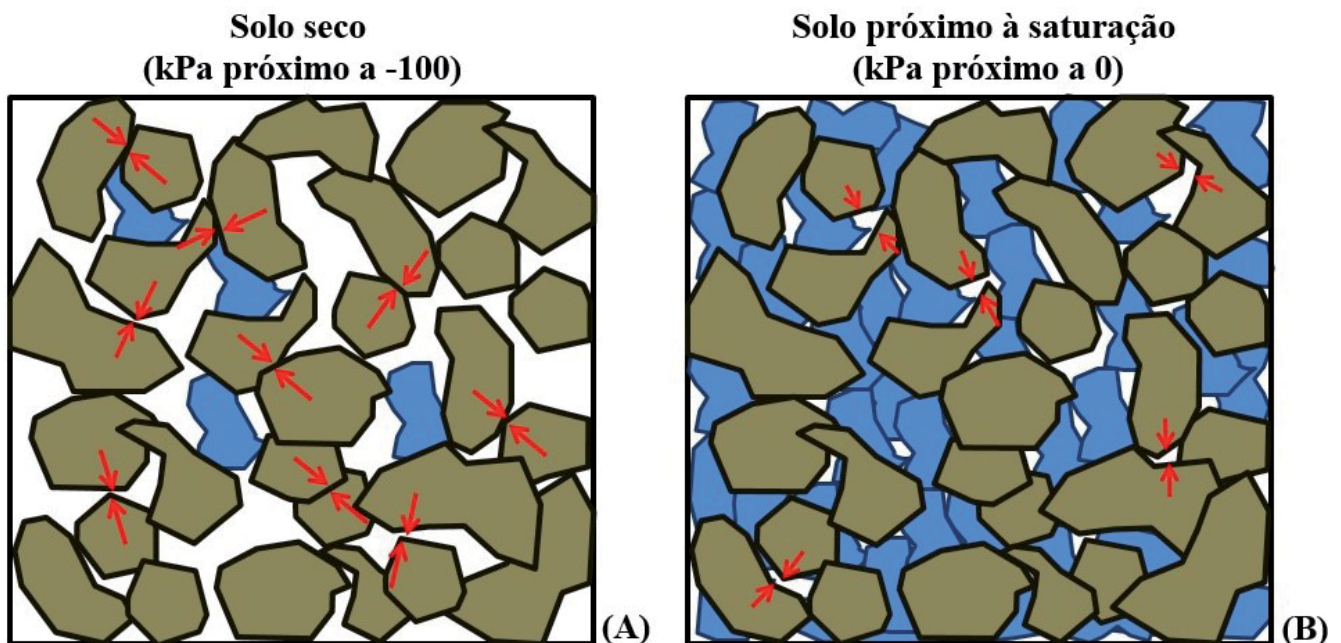


Figura 1 – Ilustração comparativa entre solo seco (A) e próximo à saturação (B). Valores de kPa embasados em medidores à vácuo de tensiômetros, com variação entre 0 e -100 kPa.

Portanto, a pesquisa objetivou realizar um levantamento das propriedades físico-químicas do topo do solo e o monitoramento do potencial matricial e da formação do escoamento superficial em solos com baixas declividades, contabilizando as taxas de perdas de água e de partículas. Procurou-se relacionar as propriedades físico-químicas e o potencial matricial encontrados com a formação e a taxa de escoamento e de perda de solo.

1.1. Características da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Maranduba, local da

pesquisa, está situada no município de Ubatuba, litoral norte do estado de São Paulo (Figura 2). As principais atividades econômicas e uso da terra desenvolvidas no município são o turismo e a construção civil, segundo Jorge *et al.* (2010), culminando nas maiores modificações do topo do solo e degradação do mesmo, como retirada da cobertura vegetal, bem como na alteração da morfologia original de montanhas e morros, deixando as vertentes retilíneas e solos expostos abandonados. Essas áreas degradadas estão ganhando maior abrangência na paisagem do município, devido ao inadequado uso e manejo do solo por parte da população local, com

construções irregulares, e, também, com o turismo predatório, como ressaltam as pesquisas de Souza & Suguio (2003), Tominaga (2007), Buzato (2012), Jorge (2014), Jorge *et al.* (2014), e representam a intensificação dos processos hidroerosivos.

A área de estudo está inserida em bioma de Mata Atlântica, na borda do Parque Estadual da Serra do Mar, localizando-se em domínio de rochas do embasamento cristalino agrupados no complexo costeiro. Especificamente no trecho da bacia Maranduba se observa a ocorrência de um conjunto de gnaisses e metassedimentos com elevados níveis de metamorfismo (PERROTTA *et al.*, 2005). O relevo segue um padrão partindo da transição planície-planalto, onde se encontra a Serra do Mar, com predominância de setores com granitos e gnaisses (BUZATO, 2012). Na faixa do terreno da Serra do Mar o relevo alcança altitudes de até 1.700 metros, aproximadamente, mais a jusante da Serra do Mar se encontra curta faixa de planície comprimida com o litoral, com morros convexos isolados que alcançam, aproximadamente, 1.100 metros, possuindo combinação de tipos de vertentes entre côncava, convexa e retilínea (BUZATO, 2012; JORGE, 2014).

Nos solos da área da Serra do Mar têm predomínio os Cambissolos, principalmente. Os Neossolos Litólicos têm predominância nas faixas das vertentes de alta declividade, bem como em topos de morros elevados. Os Argissolos são menos comuns na região, mas têm ocorrência, predominantemente, em morrotes convexos e nas baixas vertentes côncavas (TOMINAGA, 2007; BUZATO, 2012; JORGE, 2014).

A estação experimental foi instalada em um morrote convexo isolado de 60 metros de altitude em uma sub-bacia do rio Maranduba (Figura 2). Este morrote se encontra inserido em área de planície flúvio-marinha e a morfologia original deste relevo foi modificada por meio da alteração de sua vertente, que sofreu com ações antrópicas, através da retirada de material de empréstimo de solo (Corte de encosta), culminando em uma vertente retilínea. A pedologia da área, que tem como solo característico o Latossolo, foi modificada e o horizonte A foi removido totalmente, expondo o horizonte B.

O clima de Ubatuba é caracterizado como tropical litorâneo úmido, ou tropical atlântico, com temperatura média anual de 21° C, a temperatura média máxima chega a 27° C e a média mínima, de 15° C (FERNANDES, 2009). O período de verão (Dezembro a março)

representa período da estação do ano que ocorrem eventos pluviiais extremos, de maiores intensidades, e, conseqüentemente, os maiores episódios de adversidades e desastres naturais, destacando-se aqueles relacionados aos grandes movimentos de massa, enchentes e inundações (ROSEGHINI, 2007; BRIGATTI & SANT'ANNA NETO, 2011; PEREIRA *et al.*, 2015).

Considerando os totais mensais de chuva, a partir da leitura diária do pluviômetro instalado há seis anos, janeiro e dezembro apresentaram maiores amplitudes nas médias mensais de 2009 a 2014 (325,4 e 266,1 mm, respectivamente). Estes meses representam 28,6% do total de chuva anual, caracterizando períodos mais úmidos (Tabela 1). Nessa perspectiva, entender o processo de drenagem e estocagem da água no solo nesse período se fez necessário na pesquisa, por se tratar da estação do ano de maior umidade. Contudo, abril de 2014 foi selecionado para análise de drenagem do solo associados com o período de estiagem por apresentar em 2014 maior índice de chuva, estando fora do padrão do comportamento esperado.

Em contrapartida, os meses mais secos são junho e agosto (113,7 e 61,2 mm, respectivamente), que representam 8,5% do total mensal das chuvas anuais. Entretanto, maio de 2014 apresentou comportamento fora do esperado, sendo um dos meses mais secos do ano e, portanto, para comparar a drenagem da água entre períodos mais secos e chuvosos, também se analisou esse mês de menor precipitação (Tabela 1).

Na média do acumulado de chuva anual dos últimos seis anos, foi registrado índice de chuva de 2.067,2 mm, abaixo da média de 30 anos (1961-1991), segundo o banco de dados climáticos do Brasil (2015), de 2.519 mm (Tabela 1). Esses períodos mais secos estão relacionados com a pouca precipitação que o estado de São Paulo está enfrentando nos últimos anos, principalmente em 2014, diminuindo a quantidade de água armazenada nos reservatórios que abastecem a cidade.

Contudo, Ubatuba é um município que possui boa distribuição de chuva ao longo do ano, com meses mais chuvosos no verão. Segundo Nunes (2010), esta cidade está entre as 10 mais chuvosas do Brasil, o que confere ao município grande oferta de água. Esse município também conta com constantes chuvas orográficas, isso devido ao seu território ser comprimido com a Serra do Mar, ou seja, apresenta grande densidade de massas de ar úmidas (ROSEGHINI, 2007; SANTOS & GALVA-

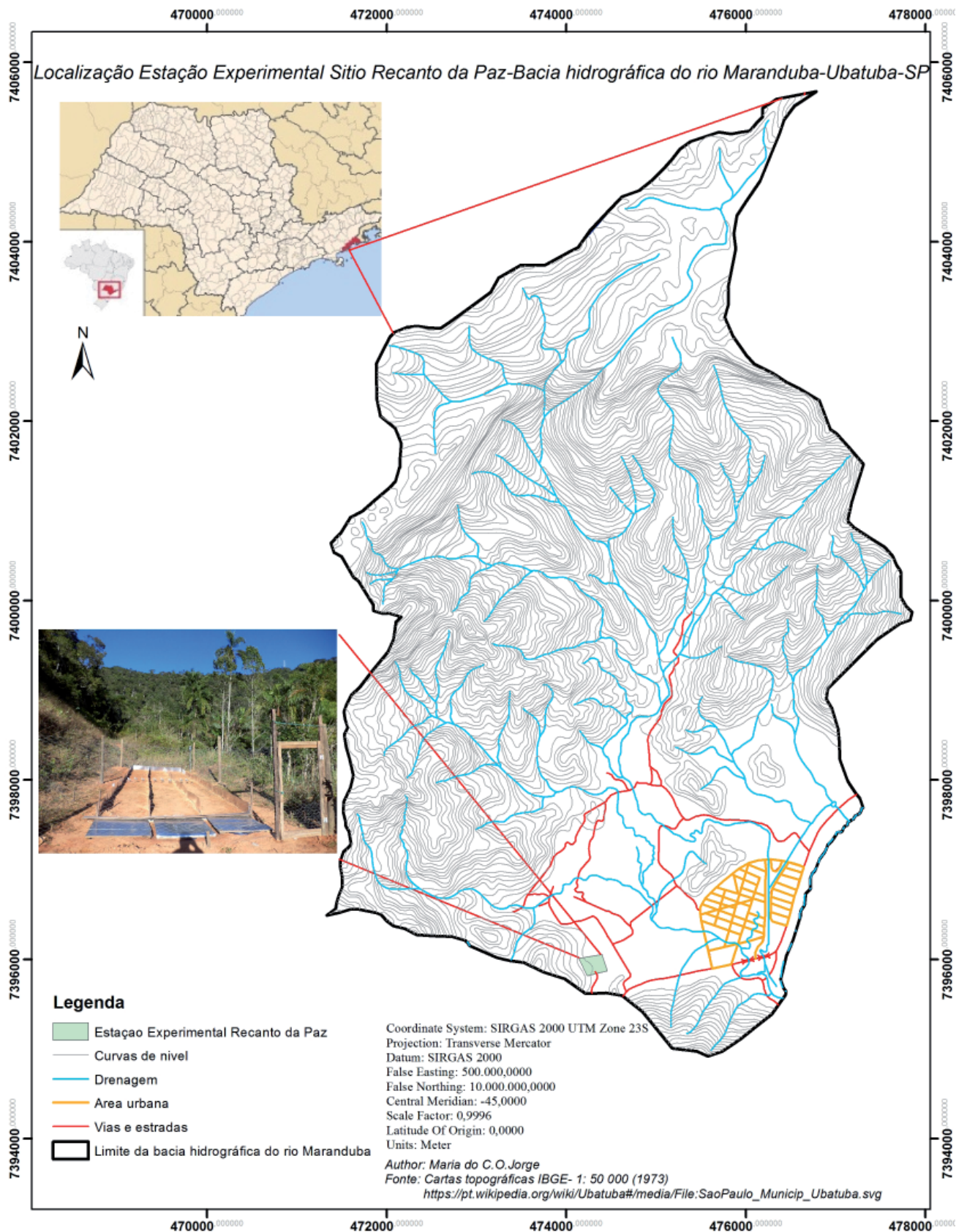


Figura 2 – Mapa de localização da área de estudo.

NI, 2014). Seguindo a classificação de intensidade de chuvas proposta por Reichart (1987), constata-se que 80,3% das chuvas são leves, seguidas de 15% moderadas e 4,7% fortes (PEREIRA *et al.*, 2015). Aliado a

este fato cresce o número de ocupações pela população local em áreas de risco, bem como a modificação dos ambientes naturais costeiros e continentais, que geram grandes problemas de erosão.

Tabela 1: Valores da precipitação média (milímetros e percentual) para os meses de janeiro a dezembro entre 2009 e 2014 e médias mensais anuais de 6 anos comparados com a série histórica de 30 anos do município de Ubatuba do banco de dados climáticos do Brasil (2015).

Meses	2009		2010		2011		2012		2013		2014		Média de 6 anos		Média de 30 anos (1961-1991)	
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
janeiro*	223,1	9,5	456,9	18,9	231,6	10,0	220,2	12,8	495,1	24,9	122,5	7,6	325,4	15,7	376,0	14,9
fevereiro	191,0	8,2	198,3	8,2	149,9	6,5	228,3	13,2	92,1	4,6	132,0	8,2	171,9	8,3	302,0	12,0
março	91,6	3,9	227,2	9,4	604,9	26,2	112,4	6,5	267,6	13,4	252,8	15,6	260,0	12,6	300,0	11,9
abril	276,7	11,8	206,0	8,5	394,0	17,0	79,2	4,6	46,7	2,3	226,0	14,0	201,0	9,7	241,0	9,6
maio	166,5	7,1	107,0	4,4	11,0	0,5	193,0	11,2	169,3	8,5	82,0	5,1	149,0	7,2	124,0	4,9
junho*	99,7	4,3	171,5	7,1	56,9	2,5	151,1	8,8	89,3	4,5	94,1	5,8	113,7	5,5	87,0	3,5
julho*	209,7	9,0	219,0	9,0	45,5	2,0	179,7	10,4	135,7	6,8	179,8	11,1	157,9	7,6	11,0	0,4
agosto	82,0	3,5	64,6	2,7	116,5	5,0	15,5	0,9	27,5	1,4	83,9	5,2	61,2	3,0	93,0	3,7
setembro	162,3	6,9	166,5	6,9	121,4	5,2	41,7	2,4	93,5	4,7	111,5	6,9	117,1	5,7	166,0	6,6
outubro	287,7	12,3	95,7	4,0	160,0	6,9	138,3	8,0	199,0	10,0	68,2	4,2	176,0	8,5	215,0	8,5
novembro	130,0	5,6	175,5	7,2	90,9	3,9	204,0	11,8	183,5	9,2	116,7	7,2	156,8	7,6	256,0	10,2
dezembro*	416,2	17,8	332,1	13,7	230,4	10,0	160,0	9,3	191,7	9,6	149,3	9,2	266,1	12,9	348,0	13,8
Total	2336,5	100,0	2420,8	100,0	2312,6	100,0	1723,4	100,0	1991,0	100,0	1618,8	100,0	2067,2	100,0	2.519	100,0

*As cores em azul representam os meses mais chuvosos e em vermelho os mais secos.

Cavalcanti (2012) e Santos & Galvani (2014) ressaltam que a latitude, o relevo e a elevada taxa de umidade que segue do oceano para o continente são os fatores que mais contribuem para a configuração do clima do litoral norte de São Paulo. Como constatado nos dados dessa pesquisa, estes autores também salientam que a variação pluviométrica anual não apresenta períodos associados às estações de seca, mas há, com frequência, ocorrência de eventos extremos.

2. Materiais e Métodos

Para analisar a influência do escoamento superficial, da variação do potencial pressão negativo e de saturação e das propriedades físico-químicas dos solos nos processos erosivos em baixa declividade, a pesquisa contou com a instalação de uma estação experimental (Figura 3), com monitoramento diário de dados da pressão da água no solo, do escoamento superficial e da perda de solo. Também contou com o monitoramento das chuvas para analisar as suas taxas diárias e mensais.

2.1. Monitoramento e comportamento da precipitação

Foi analisado um histórico de dados de chuva de seis anos (2009 até 2014) por meio de um pluviômetro de leitura diária instalado a 1 km de distância da estação, com o objetivo de correlacionar os dados de chuva de seis anos com os que foram medidos durante o monitoramento da pesquisa, para ver se estavam dentro do padrão. Também visou correlacionar os dados medidos durante o monitoramento com os potenciais matriciais encontrados e com a formação e as taxas de escoamento.

2.2. Propriedades físicas e químicas do solo

Foram coletadas amostras de solo deformada e volumétrica em área sem cobertura vegetal na estação experimental em quatro profundidades (0-10, 10-20, 20-30 e 80-90 cm). Em todas as análises dos solos (Tanto físicas, quanto químicas) foram elaboradas triplicatas.

Seguindo o método da EMBRAPA (1997), analisou-se as propriedades físicas do solo (Porosidade total, densidade aparente e textura) e químicas (Matéria



Figura 3 - Visão geral da estação experimental de erosão de solos, salientando as parcelas de erosão (1); os tensiômetros (2); o pluviômetro (3); as caixas coletoras de sedimento (4).

orgânica e pH). A classificação textural do solo desta pesquisa seguiu os parâmetros do *United States Department of Agriculture* (USDA, 2015).

2.3. Monitoramento da variação e drenagem da água no solo

Em cada parcela de erosão foi instalado bateria de três tensiômetros a vácuo em distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) a fim de entender o processo de aumento e diminuição do teor de água no solo por meio dos potenciais matriciais. O monitoramento dos tensiômetros foi diário (9:00 h). Estes operam na faixa de 0 até -100 kPa, aproximadamente. Para entender a variação da movimentação da água no solo por profundidade, foram analisados e comparados dois meses que não apresentaram comportamento da precipitação dentro do padrão, com índices de chuva no acumulado mensal acima do esperado (Abril de 2014, com 226

mm de chuva) e abaixo do padrão (Maio de 2014, com 82 mm de chuva).

Também foram individualizados dois períodos de estiagem de longa duração para entender o processo de drenagem e, assim, foi possível prever o tempo que o solo permaneceu saturado: o primeiro superior a 7 dias (Entre 12 e 29 de dezembro de 2013), quando, nas 72 horas antes da estiagem, havia ocorrido um acumulado de chuva de 82,8 mm; o segundo com 30 dias sem chuva (Entre 17 de janeiro e 15 de fevereiro de 2014), com acumulado pluvial de 72 horas antes da estiagem de 38 mm.

2.4. Monitoramento do escoamento: análise da perda de solo e água

Três parcelas de erosão, das quais as calhas são do modelo Gerlach (GUERRA, 2005), foram instaladas em declividade de 4°, delimitadas com placas galvanizadas

a uma profundidade de, aproximadamente, 15 a 20 cm. Ressalta-se que as parcelas de erosão estão instaladas em condições climáticas naturais e foram monitoradas no período entre agosto de 2013 e dezembro de 2014, totalizando um ano e cinco meses de monitoramento, abrangendo as estações do ano mais e menos chuvosas. A proximidade e triplicada das parcelas de erosão se fez necessário para melhor acurácia estatística dos dados experimentais de escoamentos, englobando os dados de perda de água e solo.

As parcelas têm 10 metros de comprimento e 1 metro de largura, totalizando 10 m², estando conectadas a calhas que coletam os sedimentos e a caixas que armazenam o escoamento superficial. As caixas que armazenam o escoamento têm capacidade de 100 Litros. Dentro das caixas foram colocados baldes graduados de 10 litros a fim de armazenar escoamento que não ultrapassem 10 litros (Figura 3).

Em campo, todas as manhãs (9:00 horas), foi verificado a ocorrência de escoamento e se mensurou o que foi armazenado nas caixas de 100 Litros após os eventos de chuva. Do volume do escoamento armazenado, após a homogeneização de todo o material erodido, retira-se alíquota de um litro para análise em laboratório.

No laboratório, a alíquota de um litro foi passada em um papel de filtro qualitativo de 80 g/m² de porosidade, equivalente a 3 micras. Após filtrar o escoamento, leva-se o sedimento retido no filtro à estufa para secar a uma temperatura de 50° por 24 horas. Posterior à secagem esfria-se em dessecador e se pesa a fim de determinar o total de solo perdido superficialmente (t/L), e se multiplica pelo volume de litros retidos da caixa coletora (L), o que equivale ao quanto foi erodido na área da parcela (ha). Embasado nesse resultado, calcula-se os dados para tonelada/hectare (t/ha), onde:

$$\text{Perda}_{t/ha} = [(\text{Sedimento perdido}_{t/L} \cdot \text{Escoamento}_L) / \text{Área da Parcela}_{ha}]$$

Das alíquotas de um litro coletadas para análise de perda de solo, foi elaborado análise granulométrica dessas partículas escoadas superficialmente para relacionar com as porcentagens texturais presentes no solo *in situ*. Utilizou-se o método da EMBRAPA (1997) e, para alcançar os 20 gramas de solo para a análise, foram somadas as perdas de solos dos dias contínuos que tiveram escoamento superficial, totalizando 9 pe-

ríodos entre: 18/09/2013 e 16/11/2013; 22/11/2013 e 07/01/2014; 16/02/2014 e 08/03/2014; 21/03/2014 e 26/04/2014; 27/04/2014 e 23/05/2014; 28/05/2014 e 27/07/2014; 28/07/2014 e 21/10/2014; 22/10/2014 e 14/11/2014; 24/11/2014 e 27/11/2014.

2.5. Análise estatística

Os dados adquiridos na pesquisa foram tabelados no *software Excel* 2013. Para as análises de estatística foi utilizado o *software R Project* versão 2.12.0. Para descrever e resumir todos os dados experimentais da pesquisa foi utilizado o cálculo da estatística descritiva. A fim de se obter uma extrapolação dos dados, avaliar a acurácia dos mesmos e sistematizá-los, utilizou-se a estatística inferencial. Desse modo, foram elaborados cálculos, para todos os dados experimentais, de desvio padrão, para avaliar a dispersão e variação dos dados das médias, bem como calculado o coeficiente de variação de Pearson, para estimar a precisão e dispersão relativa dos dados experimentais. Nos dados de potencial matricial da água no solo se calculou o coeficiente de determinação (R²) para verificar se os dados se adequam a um modelo linear.

3. Resultados e discussão

3.1. Comportamento da precipitação da área de estudo

Durante o período de monitoramento das taxas de formação do escoamento, o comportamento da chuva se apresentou fora do padrão esperado entre os meses quando comparada com a série histórica de 30 anos, do banco de dados climáticos do Brasil (2015), e dos seis anos de monitoramento de chuva da área. Enquanto janeiro e dezembro são os meses padrão que se destacam como mais úmidos, durante agosto de 2013 e dezembro de 2014, os dois meses mais chuvosos foram março e abril. Estes somaram mensalmente 252,8 e 226 mm de chuva, respectivamente, enquanto que janeiro e dezembro de 2014 ficaram abaixo da média (122,5 e 149,3 mm de precipitação, respectivamente) (Tabela 1).

Segundo Morgan (2005) e Guerra e Mendonça (2011), ambientes de elevados índices de chuva, como áreas de clima tropical, apresentam graves problemas de erosão, principalmente quando os solos não são manejados adequadamente, pois o processo de formação do escoamento superficial nos solos se torna mais intenso, especialmente nos solos degradados sem

cobertura vegetal. A baixa capacidade de absorção da água desses ambientes favorece à rápida saturação do solo, corroborando com fluxo concentrado da água, quando associados a terrenos côncavos. O escoamento, portanto, com maior volume e força, pode erodir e transportar maior quantidade de partículas de solo. Nessa perspectiva, os meses mais chuvosos do município (Período do verão) são os que podem apresentar maiores problemas de erosão.

Contudo, como constatado nos dados de 2014, a distribuição e acumulado de chuva mensal apresentou comportamento fora do padrão, e os meses que se apresentam dentro do esperado com menor precipitação demonstraram os maiores índices de chuva do ano. Logo, o município possui alta variação porque este é um ambiente de clima muito úmido ao longo de todo ano, reflexo das constantes frentes frias que atuam nessa área devido a sua posição geográfica e território ser comprimido com a Serra do Mar. Por meio do monitoramento pluvial, salienta-se que a problemática dos processos hidro-erosivos não se limitam a meses pontuais, portanto, sendo um processo constante.

A intensidade da chuva é um dos fatores fundamentais para se analisar os processos de erosão, uma vez que as chuvas não se distribuem de modo linear durante 24 horas, tendo momentos de maior e menor intensidade. A energia cinética das gotas da chuva mais intensa gera maior impacto no solo ao atingir a sua superfície, quando comparadas com chuvas mais fracas. As gotas das chuvas geram impactos no topo do solo e podem iniciar o processo de erosão antes da saturação do mesmo. Desse modo, quanto maior a intensidade da precipitação, o grau de ruptura dos agregados é mais elevado, devido ao impacto das gotas de chuva ser mais forte (COELHO NETTO, 2009; COELHO NETTO *et al.*, 2011). Os maiores problemas com erosão, portanto, se darão entre dezembro e março, segundo os dados da série histórica de 30 anos (Tabela 1), pois, além de apresentarem maior acumulado de chuva mensal, concentram as chuvas mais intensas (PEREIRA *et al.*, 2015).

Devido à boa distribuição das chuvas na área durante o período de monitoramento (Agosto de 2013 até dezembro de 2014) com acumulado de precipitação de 2.318 mm, constatou que, dos 518 dias monitorados, 157 obtiveram ocorrência de precipitação, reforçando que 30,3% do tempo de monitoramento foram propensos ao processo erosivo e formação de escoamento

superficial. Os períodos de estiagem, ao longo do monitoramento foram curtos, variando entre 7 a 14 dias até a próxima chuva, sendo entre 17 de janeiro e 15 de fevereiro de 2014 o mais longo, com 29 dias de estiagem (Figura 6D, E, F). Esses dados são mais um indicativo da maior frequência de chuva, culminando em solos úmidos e na formação do escoamento.

Pereira *et al.* (2015) constataram que, das chuvas do município, tem predomínio as de intensidade leve, contribuindo com 80,3%, seguido das chuvas moderadas (15%) e fortes (4,7%). A maior frequência da distribuição das chuvas de baixa intensidade favorece o processo de umidade antecedente do solo, pois se trata de um ambiente que será constantemente umedecido. Em solos com baixa capacidade de drenagem, a umidade antecedente contribuiu na formação do escoamento e ajudou a acelerar os processos erosivos, devido à rápida saturação do solo (FANTIN, 2012; ZHANG *et al.*, 2015b).

3.2. Análises físico-químicas do solo

Considerando os valores de porosidade total no solo nas parcelas de erosão, tanto em superfície de 0-10 cm, quanto em subsuperfície (10-20; 20-30; 80-90 cm), os resultados foram baixos e homogêneos, em média 37,6%, com 4,3 de desvio padrão e 11,3% de coeficiente de variação (Tabela 2). Os resultados de densidade aparente apresentaram valores inversos em todas as profundidades, em torno a 1,6 g/cm³ (Tabela 2), caracterizando um ambiente compactado, uma vez que a relação da massa com o volume que o solo ocupa em um determinado espaço se encontra próximo ao limite de um solo denso (2 g/cm³). Associa-se esses valores à baixa presença de vegetação, uma vez que as raízes ajudam na reestruturação dos solos e na formação de poros. Portanto, segundo Silva (2010), a porosidade possui grande importância para o adequado funcionamento do solo, permitindo a infiltração da água em subsuperfície, o que viabiliza o abastecimento do lençol freático e fornece água para os vegetais. Como no solo de floresta próximo a este ambiente degradado, que possui porosidade e densidade aparente adequados e ajudam a preservar a funcionalidade ambiental (45,3% e 1,3 g/cm³, respectivamente), como o bom desempenho do ciclo hidrológico nos solos (PEREIRA *et al.*, 2014b).

Contudo, se a rede porosa do solo é compro-

metida, como nas áreas degradadas, pode propiciar a ocorrência de erosão laminar, assim como também de erosão linear (Escoamento concentrando) (CANTALICE *et al.*, 2005; PEREIRA *et al.*, 2014a). Essa área, por apresentar o horizonte B exposto e propriedades comprometidas da rede porosa, como especificado nos dados acima, tem elevada probabilidade à erosão de solo e interfere diretamente no processo de drenagem da água, culminando na rápida saturação do solo, devido ao baixo volume que a rede porosa apresenta para absorver o líquido proveniente das precipitações. Desse modo, pode acelerar o processo de formação do escoamento superficial, bem como aumentar a sua concentração, velocidade e força, intensificando a desagregação do solo e o transporte de suas partículas.

A classificação textural do solo das parcelas de erosão, que seguiu os parâmetros da *United States Department of Agriculture* (USDA, 2015), apresenta textura franco-argilo-arenosa. Os solos analisados possuem altas taxas das frações areia (54,8%), seguidos do silte (23,9%) e da argila (21,3%). Nessa perspectiva, segundo Morgan (2005), as frações com maior potencialidade à erosão são as frações silte e areia, sobretudo, areia fina, pois não possuem alta capacidade de agregação, o inverso com a argila, que é a fração mais difícil de remoção, pois possui maior capacidade de agregação. Cantalice *et al.* (2005), ao relacionar solos de classificação franco-argilo-arenosos com as taxas de escoamento superficial e o processo de desagregação do mesmo, afirmam a maior probabilidade de incisão erosiva para essa classe textural, à medida que aumenta a concentração do fluxo de escoamento, isso devido a sua natureza física e, aliado a essa limitação, ao intenso processo de degradação, devido à retirada da cobertura vegetal, que, como também presenciado na sub-bacia do rio Maranduba, corrobora na diminuição das taxas de material orgânico e, portanto, na menor agregação do solo, deixando-o menos resistente aos agentes exógenos, como a erosão.

A matéria orgânica (M.O) se ressalta como importante variável para inferir sobre a instabilidade do solo. Segundo De Ploey & Poesen (1985), solos que apresentam menos de 2% de matéria orgânica contribuem para a baixa instabilidade de agregados. As análises químicas do solo das parcelas de erosão demonstraram baixos teores de matéria orgânica, em média 0,5%. Resultados da área de floresta próximo da

estação experimental de Pereira *et al.* (2014b) apresentam 8,4 vezes mais material orgânico, o equivalente a 4,2%. Podwojewski *et al.* (2011) salientam que as taxas de matéria orgânica influenciam no processo hidro-erosivo, uma vez que tem a capacidade de agregação do solo, tornando-o resistente à ação da chuva. Além de estar relacionado com a ciclagem de nutrientes, o que auxilia na boa qualidade do solo.

Zhang *et al.* (2013) salientam como o transporte de matéria orgânica no solo, por meio do escoamento, pode interferir nos padrões da paisagem. O deslocamento deste material representa, portanto, uma nova redistribuição de matéria orgânica no espaço, interferindo na qualidade do solo *on site*, intensificando o processo erosivo pela perda desses nutrientes. Os rios são os principais receptores das partículas de solo provenientes da erosão, o que gera outro grave problema na paisagem devido ao efeito *off site* (VALENTIN *et al.*, 2005; KIRKELS *et al.*, 2014), podendo alterar a dinâmica fluvial devido à poluição do excesso de material orgânico diluído na água, mudando a natureza química da mesma. Logo, a área degradada desta pesquisa representou uma perda de material orgânico equivalente a 3,8%, quando comparada com áreas de floresta da região, sendo esta taxa redistribuída na paisagem.

As análises de pH variaram em torno de 5,1 (Tabela 2), com coeficiente de variação de 1,4%, ou seja, representam solos ácidos. Segundo Malavolta (1979), os solos com pH entre 6 e 6,5 são ideais para o crescimento da vegetação. Solos ácidos podem ser reflexo das elevadas taxas de escoamento da área degradada, transportando as bases do mesmo, o que dificulta o crescimento da vegetação. Do Vale *et al.* (1996), Fullen & Catt (2004) e Vezzani & Mielniczuk (2011) ressaltam outro agravante da acidificação dos solos que está relacionado à baixa capacidade de troca catiônica entre as raízes com o solo, desestabilizando o fluxo de matéria e energia no sistema. Os autores também ponderam que solos com pH baixo interferem na fragilidade dos agregados mesmo em solos argilosos, corroborando com a baixa permeabilidade e aeração, o que pode culminar na maior probabilidade à ocorrência do escoamento e intensificar os problemas com a erosão acelerada. Semelhante às características do solo da presente pesquisa que, apesar de possuir 21,3% de argila, sofre com problema de erosão.

Tabela 2: Análises físico-químicas do solo das parcelas de erosão.

Parcelas de erosão	Profundidade	Análises físicas				Análises químicas			
		Porosidade total %	Densidade aparente g/cm ³	Granulométrica %				M.O. %	pH
				Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila		
Parcela A	0 - 10 cm	33,8	1,7	38,4	8,9	17,9	34,8	0,5	5,1
	10 - 20 cm	34,1	1,7	44,8	10,5	19,2	25,5	0,4	5,0
	20 - 30 cm	42,0	1,6	42,5	13,1	26,4	18,0	0,5	5,0
	80 - 90 cm	40,5	1,6	43,5	13,0	25,6	17,9	0,5	5,2
Parcela B	0 - 10 cm	33,4	1,7	46,2	11,1	22,9	19,8	0,5	5,1
	10 - 20 cm	32,9	1,7	45,4	11,0	25,1	18,5	0,5	5,2
	20 - 30 cm	43,2	1,6	44,6	13,0	28,2	14,2	0,5	5,1
	80 - 90 cm	37,8	1,6	45,4	12,4	25,0	17,2	0,4	5,1
Parcela C	0 - 10 cm	35,9	1,6	39,8	8,5	22,0	29,7	0,5	5,0
	10 - 20 cm	32,5	1,7	41,3	10,6	22,1	26,0	0,6	5,1
	20 - 30 cm	43,2	1,6	41,5	12,7	28,3	17,5	0,5	5,1
	80 - 90 cm	41,3	1,6	47,3	12,4	24,1	16,2	0,3	5,0
Média		37,6	1,6	43,4	11,4	23,9	21,3	0,5	5,1
Desvio Padrão		4,3	0,1	2,7	1,6	3,2	6,3	0,1	0,1
Coefficiente de Variação (%)		11,3	3,1	6,3	14,0	13,6	29,5	13,2	1,4

3.3. Períodos de estiagem e o processo de drenagem da água no solo

Analisando as distintas profundidades (15, 30 e 90 cm) entre os períodos, verifica-se a pouca variação dos potenciais matriciais da água no solo. Contudo, a profundidade de 15 cm apresenta maior sucção da água em detrimento as de 30 e 90 cm, pois segundo Marouelli (2008), representa a camada mais superficial, com acentuada drenagem na matriz do solo, além de apresentar maior presença de sistemas radiculares (BEZERRA *et al.*, 2012). Contudo, como se trata de uma área desnuda, a saída da água do solo está mais relacionada com a evaporação da água, devido à proximidade com a superfície.

A profundidade de 90 cm apresentou a menor tensão do solo, pois trata-se da zona de recarga. As profundidades superiores drenam a água para zonas mais subsuperficiais e perdem por evapotranspiração mais facilmente. Resultados semelhantes foram encontrados por Pereira & Rodrigues (2013), em ambiente de área agrícola degradada e abandonada. Os autores constataram rápida saturação do solo devido à baixa capacidade de drenagem, armazenando nas camadas inferiores, o que culminou em elevadas perdas de solo e nutrientes, inviabilizando o crescimento da vegetação. Na vertente da sub-bacia do rio Maranduba os resultados foram se-

melhantes devido à umidade antecedente em períodos prolongados nas camadas subsuperficiais, preenchendo os espaços porosos, estes já comprometidos e com menos espaço, dificultando o deslocamento do líquido no sistema e acelerando o processo de saturação do solo, favorecendo à formação do escoamento superficial. No dia 15 de abril de 2014 (Figura 4A), por exemplo, após o período de estiagem (Entre 1 e 14 de abril), ocorreu a saturação do solo e um total de escoamento superficial de 100 m³, tendo o mesmo padrão de relação entre saturação do solo e escoamento nos dias 25 de abril de 2014, 11, 19 e 24 de maio de 2014, com solos próximos à saturação e volume de escoamento de 100 m³.

A condição de umidade prolongada dos solos degradados dessa região, que tiverem o manto pedológico superficial removido e ficou exposto o horizonte B, com menos agregados devido à baixa concentração de M.O., pode interferir na maior perda de solo. Essa situação pode também ser responsável pelas micro incisões erosivas visualizadas na área de estudo por meio do maior fluxo do escoamento superficial, corroborando com a formação de ravinas e voçorocas, como evidenciado por Guerra & Jorge (2009) ao mapearem as áreas da cidade que têm maior probabilidade a riscos de desastres ambientais.

O volume de escoamento superficial pode ser ex-

plicado, portanto, pela umidade antecedente e também pela saturação do solo no momento da precipitação, ou logo depois dela, o que é constatada na figura 4A, principalmente na profundidade de 30 e 90 cm. Em condição natural climática, após a última chuva do período de estiagem, a profundidade de 15 cm apresentou condições próximas à saturação por 3 dias seguidos (-4,

-6,7 e -10 kPa), e nos próximos 8 dias apresenta solo úmido, em média -21,4kPa. Somente a partir do 9º dia que parte da água é drenada e o solo entra no estágio seco, mas sem apresentar *stress* hídrico, com média de -40 kPa. A mesma variabilidade dos potenciais matriciais se constata entre o período de 12 e 23 de maio de 2014 (Figura 4B).

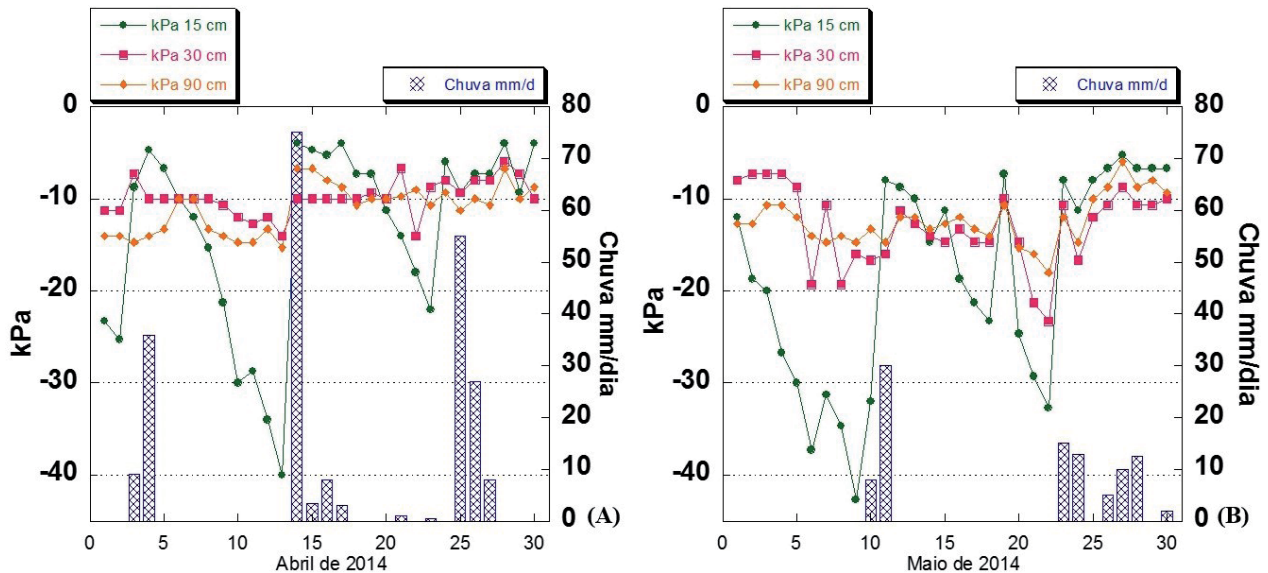


Figura 4 - Variação da movimentação da água no solo por profundidade (15, 30 e 90 cm) nos meses de abril e maio de 2014, associada ao total diário precipitado.

A profundidade de 30 cm apresenta em sua matriz a maior capacidade de armazenamento de água, isso significa menor sucção, representando menor coesão entre as partículas do solo. A baixa tensão nessa profundidade ocorreu em todos os dias do período de estiagem, pois somente após o 5º dia que o solo deixa a saturação para entrar no estágio de umidade, e permanecer nessa condição até a próxima precipitação. Semelhante à profundidade de 90 cm, contudo, a movimentação da água nessa região se torna mais linear, com solo permanentemente úmido em períodos de estiagem de até duas semanas, como analisado ao longo de todo o período monitorado.

Na figura 5A e D, evidencia-se maior drenagem da água na profundidade de 15 cm, com maior variabilidade dos potenciais matriciais e maior inclinação da reta, o que reforça a concepção de que a saída da água mais superficialmente também está relacionada com a evaporação, além da drenagem da água para zonas subsuperficiais, uma vez que 30 e 90 cm apresentam baixas capacidades de sucção, com saturação e umidade do solo com períodos prolongados.

O escoamento superficial possui comportamento diferente em determinadas encostas. Valentin *et al.* (2005) salientam que em encosta íngreme, ocorre o favorecimento à alta velocidade do *runoff*, o que confere a baixa taxa de formação de crosta. Contudo, em encosta suave, ocorre a baixa velocidade do escoamento, o que favorece na maior taxa de formação de crostas no solo. Mas deve ser levado em consideração outros fatores como a quantidade e intensidade da chuva, além da umidade antecedente do solo (ARNÁEZ *et al.*, 2015), como analisado para o município de Ubatuba.

Em uma análise integrada, desse modo, observa-se à influência da baixa capacidade de sucção do solo nas taxas de escoamento superficial em determinados períodos, representando quase 50% do que foi precipitado. As propriedades físico-químicas corroboraram para entender a influência do escoamento e da hidrologia nos processos erosivos, uma vez que apresentaram características de solos incipientes e com baixa capacidade de agregação.

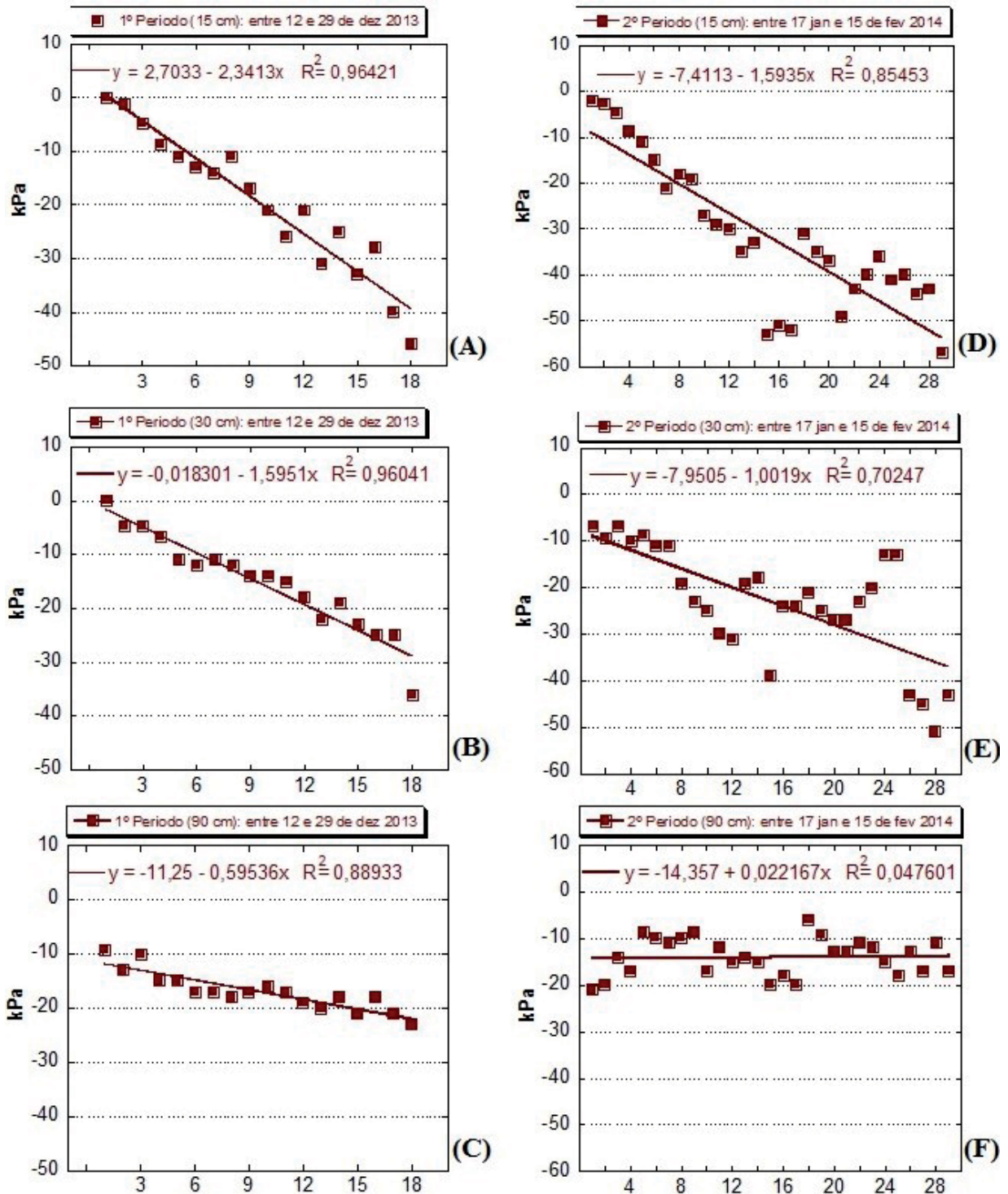


Figura 5 - Drenagem da água no solo por profundidade no período entre 12 e 29 de dezembro de 2013 (A, B e C) e no período entre 17 de janeiro e 15 de fevereiro de 2014 (D, E e F).

3.4. Erosão por escoamento superficial

Os resultados salientam que, apesar da pouca declividade do terreno (4°), mais de 22% do que chove está sendo escoado para outros ambientes, culminando no transporte de partículas de solo e nutrientes. Obser-

vou-se a ocorrência do predomínio da erosão laminar, com escoamento difuso, contudo já ocorre a incidência de micro incisões erosivas, salientando o início da atuação de fluxos concentrados na superfície do solo. Desse modo, é uma problemática que interfere em outras

espacialidades e afeta a qualidade de recursos naturais importantes para a sobrevivência dos seres vivos, como, por exemplo, a poluição de rios pelo acúmulo de material de partículas de solo, ou matéria orgânica, estes que podem ser carregados pelo escoamento provenientes das encostas. Valentin *et al.* (2005) salientam que a erosão por voçoroca é a principal fonte de produção de sedimentos na bacia hidrográfica, mas não se pode desprezar outros ambientes degradados, devido a sua baixa declividade, como o da presente pesquisa, pois somados com outros ambientes de características semelhantes, essas áreas degradadas ganham dimensões espaciais significativas.

Apesar da média do total de volume do escoamento variar em torno de 22% durante o período monitorado (Agosto de 2013 até dezembro de 2014), a variação do

volume escoado entre os meses foi muito alta, pois, como já especificados em dados acima, foram diversas variáveis que interferiram no maior, ou menor, volume de chuva escoada, como, por exemplo, a umidade antecedente e os períodos de estiagem das precipitações. Na figura 6A são observados meses em que o total de escoamento superficial chega próximo a 50% do que choveu e apresenta o solo próximo à condição de saturação, como em janeiro de 2014 com perda de água próximo a 543 m³ em média (44,9% de escoamento do total precipitado, o que representa 55 mm do total de 122,5 mm de chuva). Maio de 2014 que registrou 400 m³ de perda de água, períodos curtos de estiagens e solo próximo à saturação, apresentou 48,8% de água escoada, o que equivale a 40 mm do total de 82 mm de chuva (Figura 6A; Tabela 1).

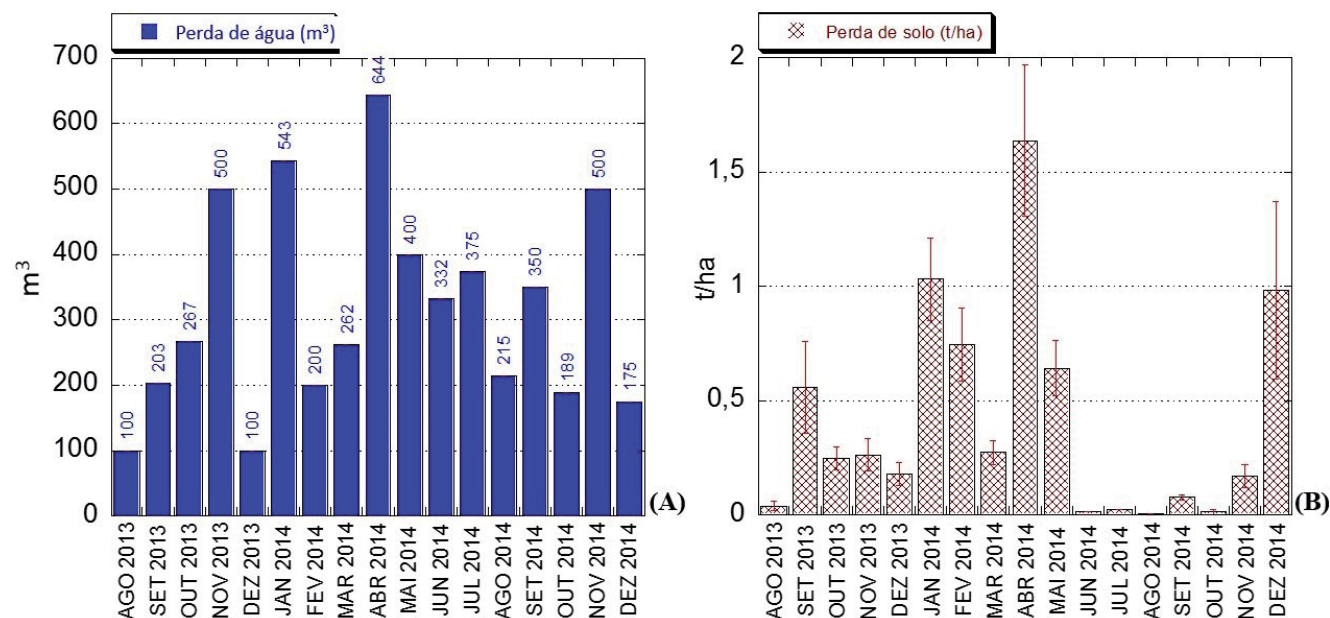


Figura 6 – Total mensal de perda de água (A) e solo (B) pelo escoamento superficial.

No acumulado do período de monitoramento, foram mais de 6,9 t/ha de perda de solo e, desse total, os meses de janeiro e abril de 2014 também foram os que apresentaram as maiores taxas de perda de solo (1,03 e 1,64 t/ha, respectivamente), representando 14,9 e 23,8% do total desse período (Figura 6B). Ao analisar o tamanho das partículas transportadas superficialmente pelo escoamento, constata-se taxas majoritárias de silte (52,3%), seguido de argila (34,1%), areia fina (9,6%) e grossa (3,9%) (Tabela 3). Observa-se que o silte está sendo transportado 28,4% mais do que as suas taxas ori-

ginais no solo *in situ*, bem como a argila que está sendo transportada 12,8% a mais. Observa-se que as partículas menores, mesmo demonstrando grande concentração no solo, importantes para a resistência dos agregados, especialmente a argila devido a maior superfície de contato, estão mais susceptíveis à erosão e transporte, isso devido à baixa capacidade de ligação iônica que estas partículas perderam devido ao constante processo de lixiviação que esse solo está sofrendo, carregando junto as bases do solo.

A baixa concentração de M.O., advinda do de-

pauperamento do solo, que ajudaria na agregação e resistência dos agregados, associada à perda de atração entre as partículas menores, culminaram em, aproximadamente, 3,6 t/ha de perda de silte e 2,3 t/ha de perda de argila, quando comparadas com o total de perda de solo durante todo o período monitorado (6,9 t/ha). A perda dessas frações granulométricas, essenciais para a ajudar no processo de recuperação da vegetação do solo devido a maior capacidade de troca catiônica e aniônica, está corroborando para a intensificação de um solo degradado e incipiente, dificultando o seu processo de recuperação. As partículas maiores, areia fina e grossa,

estão sendo transportadas 1,8 e 39,5%, respectivamente, menos quando comparadas com a textura do solo *in situ*, isso devido à baixa declividade do relevo (4°), onde a força da gravidade pouco interfere para o deslocamento desses materiais mais pesados, dependendo principalmente da força do volume de escoamento. Desse modo, culminou em 0,7 t/ha de areia fina e 0,3 t/ha de areia grossa. As partículas menores (Silte e argila) apresentaram probabilidade de arraste na superfície do solo para ambientes mais distantes, apresentando tendência de maior concentração em áreas de depósito (RAMALHO & GUERRA, 2014)

Tabela 3: Análise granulométrica das partículas de solo escoadas superficialmente e acumulado de chuva por período.

Período	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)	Chuva (mm)
19/08/2013-16/11/2013	0,4	5,4	48,9	45,3	400,5
22/11/2013-07/01/2014	1,5	5,9	59,0	33,5	356,2
16/02/2014-08/03/2014	3,3	8,6	50,0	38,1	245,8
21/03/2014-26/04/2014	4,2	9,4	52,9	33,4	346,0
27/04/2014-23/05/2014	2,6	6,6	55,6	35,2	46,5
28/05/2014-27/07/2014	5,6	11,9	53,1	29,4	246,2
28/07/2014-21/10/2014	6,4	14,8	52,4	26,5	312,1
22/10/2014-14/11/2014	8,1	17,0	43,3	31,6	74,7
24/11/2014-27/11/2014	3,3	6,8	55,7	34,2	43,0
Média	3,9	9,6	52,3	34,1	-
Desvio padrão	2,4	4,1	4,6	5,4	-
Coefficiente de variação (%)	62,4	42,9	8,7	15,7	-

Estes resultados indicam a fragilidade do ambiente sem cobertura vegetal, onde solos expostos podem estar associados à baixa resistência aos agentes modeladores do relevo, ou seja, podem representar solos mais susceptíveis ao escoamento superficial. Os elevados índices de perda de partículas de solo e água superficialmente, portanto, são indicativos da baixa qualidade do solo, pois ao se associar tais resultados com as propriedades físico-químicas do ambiente degradado, constata-se que são caracterizados pela alta densidade aparente, com baixa porcentagem de porosidade total, logo, menor espaço no solo para receber os fluídos ar e água, representando menor taxa de infiltração, bem como maior suscetibilidade ao escoamento superficial (ZHAO *et al.*, 2013; ARNÁEZ *et al.*, 2015). Associado a esses fatores, está a contribuição dos elevados índices de chuva na região.

4. Conclusões

Salienta-se que terrenos de baixa declividade e vertentes retilíneas junto à base da encosta podem contribuir no processo de escoamento de uma bacia hidrográfica e, portanto, a pesquisa de erosão nessas encostas não pode ser negligenciada nos estudos de planejamento e gestão ambiental. Ao extrapolar os dados de escoamento superficial da pesquisa para relevos mais íngremes, com características de propriedades físicas e químicas semelhantes, a previsão é de maiores perdas de solo e água, com acentuada instabilidade do solo.

Constatou-se a dificuldade de resiliência desses ambientes pela baixa concentração de M.O., o que dificulta o crescimento de vegetação espontânea, a curto prazo, principalmente de vegetação menos resistente a esses ambientes. Logo, são áreas que necessitam de intervenção para restabelecer as estruturas físicas

e químicas da matriz do solo, essenciais para a sua reabilitação, como também evidenciado por Bezerra et al. (2011).

Os resultados de potenciais matriciais indicam solos com características de saturação prolongada, salientando a contribuição da umidade antecedente na região para a aceleração dos fluxos de escoamento superficial. A maior capacidade de armazenamento da água é devido à baixa declividade do terreno, culminando na menor sucção do solo.

A pouca variação dos potenciais matriciais e seus valores absolutos altos, principalmente nas zonas subsuperficiais, associada com a baixa concentração de M.O. e, conseqüentemente, a falta da estruturação do solo, corrobora para a diminuição da coesão entre as partículas do mesmo, o que explica as altas perdas de solo e água mesmo em declividade de 4°.

O comportamento hidrológico na profundidade de 15 cm é a que mais se diferencia, com maior verticalização da reta, pois sofre influência direta dos efeitos da evaporação pela maior incidência dos raios solares, devido a sua proximidade superficial e à falta de cobertura vegetal. Enquanto que profundidades de 30 e 90 cm não apresentam condições para drenagem da água, pela falta da vegetação para ajudar na formação dos poros, o que ajudaria na movimentação da água dentro do sistema, ou por que estão próximas de uma descontinuidade hidrológica, ou do lençol freático.

Nesta perspectiva, os resultados de potenciais matriciais da água no solo foram essenciais para se analisar o processo hidro-erosivo, visto que a capacidade de drenagem e armazenamento de água do solo influenciam diretamente o escoamento superficial. As pesquisas de erosão, portanto, são de cunho sistêmico e complexo, com influências de diversos agentes ambientais e humanos. A elevada taxa de escoamento em baixa declividade, portanto, está associada à falta de conservação do uso solo devido ao intenso depauperamento que o mesmo está sofrendo, o que culminou na modificação de suas propriedades físicas e químicas, desestabilizando o sistema.

5. Agradecimentos

Agradecemos à Capes e ao CNPq pelo apoio financeiro. Ao técnico de aferição da estação experimental, Sebastião Jorge de Oliveira, assim como agradecemos

à Yoriko Kamiyama (Dona Annie), empresária da Agroindústria Y. Kamiyama Alimentos (Sítio Recanto da Paz/Gengibre de Ubatuba), cedendo espaço para a instalação da estação experimental.

6. Referências bibliográficas

ARNÁEZ, J.; LANA-RENAULT, N.; LASANTA, T.; RUIZ-FLAÑO, P.; CASTROVIEJO, J. Effects of farming terraces on hydrological and geomorphological processes. A review. *Catena* (128) 122–134, 2015.

BEZERRA, J. F. R.; GUERRA, A. J. T.; RODRIGUES, S. C. Análise da variação da umidade superficial em parcelas experimentais, Uberlândia MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 1, p. 1-20, 2012.

_____. Aplicação de Geotêxteis Biodegradáveis na Redução do Escoamento Superficial e Controle da Erosão Superficial, Uberlândia/MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 12, p. 1-12, 2011.

BANCO DE DADOS CLIMÁTICOS DO BRASIL. Disponível em <<http://www.bdclima.cnpm.embrapa.br/resultados/balanco.php?UF=&COD=492>>. Acesso em: 10/01/2015

BRADY N. C.; WEILL, R. R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. Editora FUNEP, 4ª edição. 2013.

BRIGATTI, N.; SANT'ANNA NETO, J. L. Dinâmica climática e variações do nível do mar na geração de enchentes, inundações e ressacas no litoral norte paulista. *Revista Formação*, n.15 volume 2 – p. 25-36. 2011.

BUZATO, E. Avaliação de impactos ambientais no município de Ubatuba: uma proposta a partir dos geoindicadores. **Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo**, 2012.

CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J. M.; BORGES, A. L. O. Flow hydraulics and sediment transport in rills of a sandy clay loam soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 29:597-607. 2005.

CAVALCANTI, I. F. A. Large scale and synoptic features associated with extreme precipitation over South America: A review and case studies for the first decade of the 21st century. *Atmospheric Research* (118), 27–40, 2012.

CHAPLOT, V.; COADOU LE BROZEC, E.; SILVERA, N.; VALENTIN, C. Spatial and temporal assessment of linear erosion in catchments under sloping lands of northern Laos. *Catena* 63, 167–184. 2005.

COELHO NETTO, A. L. Hidrologia de encostas na interface com

- a Geomorfologia. In: GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. da. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Ed. Bertrand Brasil. 7ª edição, 2009.
- COELHO NETTO, A. L.; SATO, A. M.; AVELAR, A. S.; VIANNA, L. G. G.; ARAÚJO, I.; FERREIRA, D. L. C.; LIMA, P. H.; SILVA, A. P.; SILVA, R. P. January 2011: the extreme landslide disaster in Brazil. **Proceedings of the Second World Landslide Forum** – 3-7 October 2011.
- DE PLOEY, J.; POESEN, J. Aggregate stability, runoff generation and interrill erosion. In: **Geomorphology and Soils**. Editores: K. S. Richards, R. R. Arnett e S. Ellis, 99-120, 1985.
- DO VALE, F. R.; NETO, A. E. F.; RENÓ, N. B.; FERNANDES, L. A.; RESENDE, A. V. Crescimento radicular de espécies florestais em solo ácido. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, V. 31, nº9, 609-616, 1996.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Manual de métodos de análise de solo** / Centro Nacional de Pesquisa de Solos – 2. ed. Ver. Atual. – Rio de Janeiro, 1997.
- FANTIN, T.Y. Cobertura vegetal e erosão em entressulcos sob pastagem irrigada em Uberaba – MG. **Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista**, Jaboticabal, 2012.
- FERNANDES, J. Percepção ambiental: as transformações no cotidiano de caixas de Ubatuba – SP na década de 1960 e na primeira década do século XXI. **Dissertação (mestrado) – Universidade de Taubaté**, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2009.
- FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil Management – Problems and Solutions**. Oxford: Oxford University Press, 2004.
- GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. **Erosão dos Solos e a Questão Ambiental**. In: VITTE, A.C. e GUERRA, A.J.T. (Orgs). Reflexões sobre a geografia física no Brasil – 5ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- GUERRA, A. J. T. Experimentos e Monitoramentos em Erosão dos Solos. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, 16, 32-37. Rio de Janeiro/ RJ, 2005.
- GUERRA, A.J.T; JORGE, M. Mapping hazard risk. **Geography Review**, v.22, n.3, p.11-13, 2009.
- JORGE, M. C. O.; GUERRA, A. J. T. Erosão dos Solos e Movimentos de Massa- Recuperação de áreas degradadas com Técnicas de Bioengenharia e Prevenção de Acidentes. In: **Processos Erosivos e Recuperação de Áreas Degradadas**. Editora: Oficina de Textos. São Paulo, 2013.
- JORGE, M. C. O. **Degradação dos Solos no Litoral Norte Paulista**. In: GUERRA, A. J. T. & JORGE, M. C. O. (Orgs). Degradação dos Solos no Brasil. 1. Ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- JORGE, M. C. O.; MENDES, I. A.; GUERRA, A. J. T. **Técnicas Cartográficas Aplicadas ao Zoneamento Ambiental no Município de Ubatuba-SP**. In: Contribuições Teórico Metodológicas da Geografia Física. Organização: Adoréa Rebello. Editora: Universidade Federal do Amazonas. 2010.
- JORGE, M. C. O.; PEREIRA, L. S.; GUERRA, A. J. T.; MOREIRA, R. L. Potencial geoturístico em unidades de conservação: um estudo da trilha Cachoeira da Água Branca situada no Parque Estadual da Serra do Mar, município de Ubatuba-SP. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 4, V.10, N.10, p.458– 465, 2014.
- KIRKELS, F.M.S.A.; CAMMERAAT, L.H.; KUHN, N.J. The fate of soil organic carbon upon erosion, transport and deposition in agricultural landscapes — A review of different concepts. **Geomorphology** (226), 94–105, 2014.
- LI, Y., POESEN, J., VALENTIN, C. Gully Erosion Under Global Change. **Sichuan Science Technology Press**, Chengdu, China. 2004.
- MALAVOLTA, E. Nutrição de plantas e fertilidade do solo. In: **Manual de química agrícola**, São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1979.
- MARQUELLI, W.A. Tensiômetros para o Controle de Irrigação em Hortaliças. In: **Circular técnico, Embrapa Hortaliças**. 1ª edição 1ª impressão. 2008.
- MORGAN, R. P. C. Soil Erosion and Conservation. **England: Blackwell**, 2005.
- NAGLE, G.N.; RITCHIE, J.C. Wheat field erosion rates and channel bottom sediment sources in an intensively cropped north-eastern Oregon drainage basin. **Land Degradation and Development** 15 (1), 15– 26. 2005.
- NUNES, L.H. **Jornal Maranduba News**. Ano I, edição 12. Agosto de 2010. Disponível em <<http://issuu.com/maranduba/docs/jornalmarandubanews12web/6>>. Data: 10/01/2015.
- PEREIRA, L. S.; JORGE, M.C.O.; GUERRA, A.J.T.; LAGO, T. Diagnóstico de processo hidroerosivo em área degradada por meio de monitoramento de estação experimental em Ubatuba/SP. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 4, V.10, N.10, p.228–234, 2014. (a)
- PEREIRA, L. S.; JORGE, M.C.O.; RODRIGUES, A. M.; GUERRA, A.J.T. Contribuição das chuvas de baixa intensidade nos processos erosivos superficiais em ambiente degradado bacia hidrográfica do rio Maranduba, Ubatuba/SP. **Revista Equador (UFPI)**, Vol. 4, Nº 3, 2015.

- PEREIRA, L. S.; RODRIGUES, A. Sistemas de Manejo de Cultivo Mínimo e Convencional: Análise Temporal da Dinâmica Hidrológica do Solo e da Variação Produtiva em Ambiente Serrano. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Volume 6, número 6. 2013.
- PEREIRA, L. S.; SILVA, R. F.; GUERRA, A. J. T.; REZENDE, C. M.; JORGE, M. C. O. Caracterização de substâncias voláteis orgânicas em solos com distintas coberturas vegetais por SPME. **Anais...** Simpósio Brasileiro de Cromatografia e Técnicas Afins. Campos do Jordão, SP, 2014. (b)
- PERROTTA, M.M.; SALVADOR, E.D.; LOPES, R.C.; D'AGOSTINHO, L.Z.; PERUFFO, N.; GOMES, S.D.; SACHS, L.L.B.; MEIRA, V.T.; GARCIA, M.G.M.; LACERDA FILHO, J.V. Mapa Geológico do estado de São Paulo, escala 1:750.000. **Programa Geologia do Brasil – PGB**, CPMR, São Paulo. 2005.
- PIMENTEL, D. Soil Erosion: A Food and Environmental Threat. **Environmental Development and Sustainability** (8), 119-137, 2006.
- PODWOJEWSKI, P.; POULENARD, J. NGUYET, M. L.; ROUW, A.; NGUYEN, V. T.; HA PHAM, Q.; TRAN, D. C. Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. **Catena** (87), 226–239, 2011.
- RAMALHO, M. F.J.L.; GUERRA, A. J. T. Relação entre erosão e deposição, comparando-se tais eventos com a textura de materiais colúvio-aluviais: uma análise preliminar. **Revista GEONORTE**, Edição Especial 4, V.10, N.1, p.660-664, 2014.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole. 1987.
- ROSEGHINI, W. F. Ocorrência de eventos climáticos extremos e sua repercussão sócio-ambiental no litoral norte paulista. **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia**. Presidente Prudente, 2007.
- SANTOS, D. D.; GALVANI, E. Seasonal and time distribution of rainfall in Caraguatatuba-SP and extreme events occurring in the years 2007 to 2011. **Ciência e Natureza**, Santa Maria, V. 36, nº2, 214-229, 2014.
- SANTOS, M. L.; MORAIS, E. S.; SILVEIRA, H.; ALVES, F. C. Study of overland flow in the Ivaí river basin, Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, nº 3. 2013.
- SILVA, A. S. da. **Análise morfológica dos solos e erosão**. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. (Orgs). Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações. – 6º ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.
- SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. The coastal erosion risk zoning and the São Paulo state for coastal management. In: **Journal of Coastal Research** - Proceeding of the Brazilian sandy beaches: Morphodynamics, ecology, uses, hazards and management, special issue nº 35, 530-547, 2003.
- TOMINAGA, L. K. Avaliação de metodologias de análise de risco a escorregamentos: aplicação de um ensaio em Ubatuba, SP. **Tese (doutorado) – Universidade de São Paulo**. 2007.
- USDA (United States Department of Agriculture). http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/survey/?cid=nrcs142p2_054167. Acesso em 05/12/2015.
- VALENTIN, C.; POESEN, J.; LI, YONG. Gully erosion: Impacts, factors and control. **Catena**, V. 63 132–153. 2005.
- VEZZANI, F. M.; MIELNICZUK, J. **O Solo como Sistema**. 1º edição. Ed.: Curitiba, 2011.
- ZHANG, L.; GAO, Z.; YANG, S.; LI, Y.; TIAND, H. Dynamic processes of soil erosion by runoff on engineered landforms derived from expressway construction: A case study of typical steep spoil heap. **Catena** (128), 108–121, 2015. (a)
- ZHANG, L.; WANG, J.; BAI, Z.; L, C. Effects of vegetation on runoff and soil erosion on reclaimed land in an opencast coal-mine dump in a loess area. **Catena** (128), 44–53, 2015. (b)
- ZHANG, X.; LI, Z.; TANG, Z.; ZENG, G.; HUANG, J.; GUO, W.; CHEN, X.; HIRSH, A. Effects of water erosion on the redistribution of soil organic carbon in the hilly red soil region of southern China. **Geomorphology** (197), 137–144, 2013.
- ZHAO, G.; MU, X.; WEN, Z.; WANG, F.; GAO, P. Soil erosion, conservation, and eco-environment changes in the loess plateau of china. **Land degradation & development Land Degrad. Develop** (24), 499–510, 2013.
- ZUAZO, V. H. D.; PLEGUEZUELO, C. R. R.; PEINADO, F. J. M.; GRAAFF, J.; MARTÍNEZ, J. R. F.; FLANAGAN, D. C. Environmental impact of introducing plant covers in the taluses of terraces: Implications for mitigating agricultural soil erosion and runoff. **Catena** (84), 79–88, 2011.